

⑬ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift  
⑪ DE 3942050 A1

⑳ Aktenzeichen: P 39 42 050.7  
㉑ Anmeldetag: 20. 12. 89  
㉒ Offenlegungstag: 9. 8. 90

⑤ Int. Cl. 5:  
**B05B 7/16**  
B 05 B 17/04  
B 05 B 15/04  
C 23 C 4/08  
B 05 B 7/14  
B 23 K 26/00

DE 3942050 A1

③① Unionspriorität: ③② ③③ ③①  
08.02.89 US 307713

⑦① Anmelder:  
General Electric Co., Schenectady, N.Y., US

⑦② Vertreter:  
Schüler, H., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat., Pat.-Anw., 6000  
Frankfurt

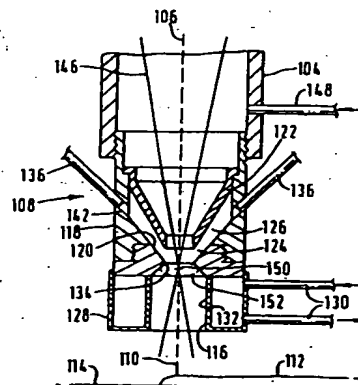
⑦③ Erfinder:

Whitney, Eric James, Cincinnati, Ohio, US; Pratt,  
Vanon David, Hamilton, Ohio, US; Scheidt, Wilbur  
Douglas; Young, William Rollin, Cincinnati, Ohio, US

⑤④ Verfahren und Vorrichtung zur Laserplasmaspritzung mit axialer Strömung

Eine Laserplasmaspritzvorrichtung zum Aufbringen eines Einspeisungsmaterials auf ein Substrat (114) umfaßt eine Düse (108) mit einer Plasmaeinschlußkammer (128), in die ein Laserstrahl (146) fokussiert wird, dessen Brennpunkt (150) so weit vom Substrat entfernt liegt, daß dieses nicht geschmolzen wird. Feinzerteiltes Einspeisungsmaterial in einer Trägergasströmung wird axial (136) in die Einschlußkammer in Richtung des Laserstrahls eingespeist und im durch die Wechselwirkung des Laserstrahls, des Einspeisungsmaterials und des Gases erzeugten Plasma geschmolzen. Das geschmolzene Material wird dann zur Abscheidung auf dem Substrat gerichtet weitergeleitet, während die Plasmaenergie zum großen Teil durch die Einschlußkammer (128) und eine Einschnürung (134) im Strömungspfad auf der Zustromseite dieser Kammer eingegrenzt wird.

FIG. 2.



DE 3942050 A1

Die vorliegende Erfindung betrifft das Schmelzen, die Verdampfung und Spritzung von Materialien und insbesondere durch Lasererwärmung induzierte Versprühung und Aufspritzung von Materialien.

In zahlreichen modernen Materialsystemen ist es notwendig, Materialschichten auf vorhandene Substrate aufzubringen. In einigen Fällen wird eine Beschichtung aus einem harten verschleißfesten Material auf festes, haltbares duktiles Material aufgebracht. Der resultierende Schichtstoff liefert eine Bauteilkomponente, die gute mechanische Eigenschaften wie Festigkeit, Duktilität und Bruchfestigkeit aufweist sowie eine Oberfläche, die in Umgebungen, die erosiv und/oder korrosiv sind, nicht schnell korrodiert, erodiert oder verschleißt. Bei anderen Anwendungen von Beschichtungsverfahren kann ein Teil einer Komponente repariert werden, indem auf das Substrat neues Material derselben Zusammensetzung wie die des Substrats aufgebracht wird, wobei die Dicke des hinzugefügten Materials graduell aufgebaut wird, um das bei der Benutzung verbrauchte Material zu ersetzen. Zahlreiche andere Anwendungen von Beschichtungsverfahren werden weitverbreitet benutzt, um der erforderlichen Vielseitigkeit bei der Auslegung kundenspezifischer Materialsysteme gerecht zu werden.

Die Materialschichten können auf zahlreiche unterschiedliche Arten abhängig vom Substrat, dem hinzugefügten Material und den erforderlichen Eigenschaften des beschichteten Materials ausgebildet werden. Das hinzugefügte Material kann in massiver Form verwendet werden und laminiert, geklebt oder bondiert oder anders am Substrat befestigt werden. Alternativ hierzu kann das Material auch in von seiner endgültigen Konfiguration verschiedener Form vorgesehen werden und auf das Substrat in Form von Atomen, häufig entweder im geschmolzenen oder verdampften Zustand, aufgebracht werden. In vielen Fällen wird die letzte Lösungsart bevorzugt, um eine ausgesprochen gute Bondierung und Haftfestigkeit des hinzugefügten Materials am Substrat zu erzielen und um in bezug auf seine Eigenschaften ein hochgradig steuerbares Endprodukt zu gewinnen.

Bei einer weitverbreiteten Lösung wird ein Plasma in einem Entladungsbogen erzeugt. Metallpulver in einem Gasstrom wird durch das Plasma geleitet, wodurch das Metall zumindest zum Teil zum Schmelzen gebracht wird. Das geschmolzene Material wird dann gegen ein Substrat gespritzt oder gesprüht, um dort als sogenanntes Coating oder Oberflächenfilm zu erstarren. Die Plasmaspritzung und ähnliche vergleichbare Techniken sind für einige Metalle wie z. B. Titanlegierungen, die in einer Atmosphärenumgebung gespritzt werden, nicht praktikabel. Bei der Ausführung im Vakuum werden diese Techniken sehr teuer.

Alternative Techniken auf der Grundlage der Verwendung eines Lasers als Energiequelle wurden vorgeschlagen. Beispielsweise haben die US 42 00 669 und die US 47 24 299, deren Offenbarungen als Bezug aufgenommen ist, Verfahren und Vorrichtungen vorgeschlagen, von denen ausgesagt ist, daß sie beim Schmelzen pulverisierten Materials und Abscheidens des Materials auf einem Substrat erfolgreich und wirksam sind. Experimentelle Ergebnisse haben jedoch gezeigt, daß diese Versuche beim Aufbringen von Einspeisungs- oder Zufuhrmaterial unter hoher Rate auf ein Substrat ineffizient sind. Jedoch hat sich hierbei die grundlegende zu-

künftige Verwendbarkeit von Lasern als Wärmequelle bestätigt.

Es besteht infolgedessen ein Bedarf an einer Vorrichtung sowie auch an Verfahren, die eine Laserwärmequelle für Plasmaabscheidung feinzerteilter Einspeisungsmaterialien verwenden und hohe Abscheidungs- oder Auftragsraten sowie -wirkungsgrade erzielen. Eine solche Vorrichtung sollte steuerbar und vielseitig sein. Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren sowie eine Vorrichtung anzugeben, die diesen Anforderungen gerecht werden.

Die erfindungsgemäße Lösung liefert darüber hinaus weitere Vorteile. Es werden durch die Erfindung eine Laserplasmaspritzvorrichtung und ein entsprechendes Verfahren angegeben, die hohe Abscheidungsraten und -wirkungsgrade von feinzerteilten Partikeln über einen weiten Anwendungsbereich von Einspeisungsmaterialien gestatten. Die Vorrichtung ist über einen weiten Bereich von Abscheidungsraten, Ausmaßen der Substraterwärmung und Ausgangsmaterialien sowie Einspeisungsbedingungen steuerbar. Die Abmessungen (Größenausdehnung und Dicke) der abgeschiedenen oder aufgetragenen Schicht sind steuerbar, indem Laser- und Betriebsparameter wie Düsenhöhe, Pulvereinspeisungsrate, Durchlaufrate vorbeibewegter Substrateile, Gasströmungsrate und Düsenkonfiguration eingestellt werden.

Die erfindungsgemäße Laserplasmaspritzvorrichtung umfaßt einen Laser, ein optisches System, das dazu ausgelegt ist, den Laser in einem Wechselwirkungsvolumen zu fokussieren, wobei der Brennpunkt des Lasers sich so weit oberhalb der Oberfläche des Substrats befindet, daß der Strahl beim Auftreffen auf das Substrat und Streifen des Substrats divergiert. Ferner sind Einrichtungen zum Zuführen von Einspeisungsmaterial und einer Gasströmung in das Wechselwirkungsvolumen vorgesehen, in welchem während des Betriebs der Vorrichtung ein Plasma ausgebildet wird und zumindest ein Teil des Einspeisungsmaterials geschmolzen wird. Ferner sind Einrichtungen vorgesehen, die das Plasma und das geschmolzene Einspeisungsmaterial teilweise einschließen, begrenzen und eindämmen und das Plasma und das geschmolzene Einspeisungsmaterial auf das Substrat hinrichten und lenken.

Es wurde als notwendig herausgefunden, das Plasma, das sich im Brennpunkt des Laserstrahls ausbildet, zur Erzielung hoher Abscheidungs- und -wirkungsgrade einzugrenzen. Wird das Plasma nicht eingegrenzt, so expandiert es lateral nach außen und setzt den Abscheidungs- und -wirkungsgrad und die Abscheidungs- und -wirkungsrate wesentlich herab. Die Laserplasmaspritzung unterscheidet sich von der Plasma-(oder "key hole")Schweißung insofern, als der Laserstrahl ausreichend defokussiert wird, so daß das Substrat im Laserplasmaspray oder -spritzstrahl nicht geschmolzen wird, während die Oberflächenbereiche des Substrats durch den Laserstrahl bei der Plasmaschweißung geschmolzen werden. Die Plasmaschweißung resultiert in einer sehr viel größeren Erwärmung und infolgedessen Schmelzung des Substrats, wobei das Einspeisungsmaterial eher in das Schmelzbad eingetragen wird als geschmolzen wird und daraufhin auf der nicht geschmolzenen Oberfläche abgeschieden wird. Im Gegensatz hierzu werden beim Laserplasmaspritzen der Brennpunkt des Lasers und der zentrale Teil des Plasmas in einem ausreichend großen Abstand von der Oberfläche des Substrats gehalten, so daß das Substrat nicht schmilzt. Der Brennpunkt des Lasers wird in der Laserplasmaspritzvorrichtung normalerweise

se unter einem Abstand von zumindest 25 bis 152 mm (1—6 inches) vom Substrat gehalten, wodurch die Erwärmung des Substrats herabgesetzt ist und ein Schmelzen des Substrats vollständig vermieden wird.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung verwendet eine Düse mit einer Eingrenzungs- oder Einschußkammer, wobei diese Düse ein äußeres kegelförmiges Gehäuse, ein inneres kegelförmiges Gehäuse geringerer Konusausmaße als das äußere Gehäuse aufweist und das innere Gehäuse in das äußere Gehäuse so eingefügt und eingepaßt ist, daß die Kegelförmigkeiten beider Gehäuse zusammenfallen und zwischen den Gehäusewänden ein ringförmiger Durchgang oder Durchtrittshohlraum definiert wird. Ferner umfaßt die Düse eine hohle zylindrische Ausdehnung oder Verlängerung des Außengehäuses, deren Zylinderachse mit den Kegelförmigkeiten von Außen- und Innengehäuse zusammenfällt. Diese zylindrische Verlängerung bildet eine Plasmaeinschuß- oder Plasmaeingrenzungskammer. Ferner ist ein Laser vorgesehen. Ein optisches System ist so ausgelegt, daß der Laserstrahl entlang der Kegelförmigkeiten von Außen- und Innengehäuse auf einen Brennpunkt innerhalb des Innern von der zylindrischen Verlängerung gerichtet wird. Eine Gaszufuhranordnung, die mit dem Innern des inneren Gehäuses in Verbindung steht, erzeugt eine Strömung eines plasmabildenden Gases vom Innengehäuse zur zylindrischen Verlängerung. Ein Einspeisungssystem, das mit dem ringförmigen Durchgang zwischen Innen- und Außengehäuse in Verbindung steht, ist dazu ausgelegt, in diesen Durchgang eine Strömung von feinzerteiltem Einspeisungsmaterial, das mit einem Trägergas gemischt ist, einzuleiten.

In diesem Ausführungsbeispiel wird ein fluidisierter Pulverstrom in die Düse im Ring zwischen Innen- und Außengehäuse eingeleitet. Ein separater Gasstrom entlang der Achse der Gehäuse reißt das Pulver mit in die zylindrische Verlängerung, die die Einschußkammer bildet, wo der Laserstrahl fokussiert wird. Die Wechselwirkung der Gase, des Pulvers und der Energie des Lasers erzeugt ein Plasma, das dann eine unabhängig und selbstständig wärmestrahlende und sich selbst erhaltende Energiequelle bildet. Ein Teil des Pulvers wird geschmolzen und trägt unmittelbar zur Aufrechterhaltung des Plasmas bei. Ein Teil des Pulvers wird in Form von Tropfen geschmolzen und ein weiterer Teil des Pulvers kann beabsichtigt oder auch unbeabsichtigt ungeschmolzen bleiben. Die Einschußkammer und die Gasströme verhindern, daß das Plasma und das geschmolzene Einspeisungsmaterial sich in Längsrichtung oder zurück auf den Laser ausdehnt, so daß die einzige Richtung der Freigabe oder Ausdehnung nach außen von der Düse auf das Substrat ist. Die fortgesetzte Gasströmung entlang der Achse trägt auch dazu bei, das geschmolzene Einspeisungsmaterial auf das Substrat hin vorzutreiben.

Wie weiter oben bereits erwähnt, ist diese Laserplasmaspritzlösung klar vom Laserschweißen zu unterscheiden, das dann auftritt, wenn der Brennpunkt des Laserstrahls so nahe am Substrat liegt und eine solche hohe Leistung aufbringt, daß die Oberfläche des Substrats schmilzt. Der Brennpunkt des Lasers ist bei Vorrichtungen zum Laserschweißen bezüglich der Vorrichtung extern angeordnet, um das Substrat unmittelbar zu erwärmen und zu schmelzen, so daß jedwedes Einspeisungsmaterial, falls überhaupt verwendet, direkt in das Schweißbad eingebracht werden kann. Beim Laserplasmaspritzen ist die primäre Wärmequelle zum Schmel-

zen des eingespeisten Materials innerhalb der Vorrichtung eingeschlossen wie bei konventioneller Entladungsbogenplasmaspritzung, und das geschmolzene Material wird auf das Substrat hin ausgetrieben. Das Substrat wird nicht direkt vom Laser erwärmt, abgesehen davon, daß fallweise ein gewisser Anteil an Laserenergie durch das Plasma hindurchtritt und nicht dort absorbiert wird. Infolgedessen erreicht die Laserstrahlung das Substrat in stark defokussiertem Zustand mit geringer Strahlenergiedichte. Das Plasma kann sich bis zu einem gewissen Abstand aus dem Innern der Vorrichtung unter der Kraftwirkung des strömenden plasmabildenden Gases ausdehnen, jedoch ist das Plasma an der Oberfläche des Substrats stets nicht ausreichend intensiv, um eine Schmelzung zu bewirken. Die Laserplasmaspritzung oder -sprühung bietet den außerordentlich signifikanten Vorteil, daß sie die Abscheidung von Einspeisungsmaterial auf dem Substrat ermöglicht, ohne daß die metallurgischen Mikrostrukturen des Substrats in unerwünschter Weise beeinträchtigt werden.

Im bevorzugten Ausführungsbeispiel umfaßt die erfindungsgemäße Laserplasmaspritzvorrichtung einen Laser, der dazu ausgelegt ist, den Laserstrahl in ein Wechselwirkungsvolumen zu fokussieren. Ferner ist eine Plasmaeinschußkammer innerhalb des Wechselwirkungsvolumens vorgesehen, die eine laterale Eingrenzungs- oder Begrenzungswandung aufweist. Eine Pulvereinspeisungskammer ist zwischen dem Laser und dieser Begrenzungswandung vorgesehen. Ein Hals, vorzugsweise in Form einer konusförmigen Verjüngung, mit einer verminderten, eingeschnittenen Ausdehnung ist zwischen der Begrenzungswandung und der Pulvereinspeisungskammer vorgesehen, wobei der Laserstrahl durch diesen Hals hindurchtritt, um den Brennpunkt des Lasers zu erreichen. Dabei tritt der Laser sowohl durch die Einspeisungskammer als auch diesen Hals. Eine Pulvereinspeisungsanordnung oder Pulverzufuhranordnung speist pulverförmiges Einspeisungsmaterial in die Pulvereinspeisungskammer in einem Trägergasstrom ein. Eine Gaszufuhranordnung bewegt das Pulver aus der Einspeisungskammer in einen plasmabildenden Gasstrom in die Einschußkammer.

In diesem Ausführungsbeispiel unterstützt ein Hals zwischen der Begrenzungswandung und der Pulvereinspeisungskammer die Eindämmung und Eingrenzung des Plasmas sowie die Verteilung des Pulvers, wenn dieses Pulver in die Einschußkammer eingebracht wird. Die Eindämmung der Plasmaströmung zurück in das Gerät hängt auf diese Weise weniger von der Größe der Gasströmung ab, wodurch eine flexiblere Steuerung der Gasströme des fluidisierenden Gases und des axialen Strömungsgases möglich ist.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Laserplasmaspritzung beinhaltet ein Verfahren zum Aufbringen oder Abscheiden einer Schicht eines Einspeisungsmaterials auf einem Substrat, wobei in den einzelnen Verfahrensschritten die Einstellung eines Lasers mit einem Brennpunkt oberhalb der Oberfläche des Substrats mit einem ausreichenden Abstand von der Oberfläche des Substrats zur Verhinderung der Substratschmelzung, die Ausbildung eines Plasmas in der Region des Laserbrennpunktes, die Hinzufügung und Eintragung eines feinzerteilten Einspeisungsmaterials in das Plasma zum Schmelzen zumindest eines Teils des Einspeisungsmaterials und die Richtung oder Leitung des geschmolzenen Einspeisungsmaterials auf das Substrat eingeschlossen sind. Vorzugsweise umfaßt das Verfahren darüber hinaus den zusätzlichen Schritt des Vorsehens oder Ein-

richtens einer Einschußkammer um den Brennpunkt des Lasers herum, wobei diese Einschußkammer eine laterale Wandung mit offenen Enden aufweist, die so ausgelegt ist, daß der Laserstrahl an einem Ende in die Kammer eintreten kann und aus dem anderen Ende wieder austreten kann.

Das erfindungsgemäße Verfahren sowie die Vorrichtung zur Axialströmungs-Plasmaspritzung liefern einen entscheidenden Fortschritt in der Technologie von Beschichtungs- oder Abscheidungsprozessen. Das Plasma wird innerhalb der Beschichtungsvorrichtung zur Schmelzung des eingespeisten Materials erzeugt, so daß das geschmolzene eingespeiste Material auf einer festen, nicht geschmolzenen Substratoberfläche abgeschieden und aufgetragen wird. Das Plasma ist steuerbar, wird jedoch auf einer Distanz zum Substrat gehalten, bei der das Substrat nicht geschmolzen wird. Weitere Merkmale und Eigenschaften gehen aus der folgenden Beschreibung hervor.

Im folgenden werden das erfindungsgemäße Verfahren und die Vorrichtung zu dessen Durchführung an Hand der Zeichnungen und einiger bevorzugter Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigt

Fig. 1 eine Aufrissansicht der erfindungsgemäßen Vorrichtung und

Fig. 2 eine seitliche Schnittansicht der Vorrichtung zum Abscheiden bzw. Beschichten aus Fig. 1.

Die vorliegende Erfindung ist in einer Laser-Plasmaspritzvorrichtung 100 inkorporiert, die in Fig. 1 in einer Übersichtsdarstellung gezeigt ist. Die Vorrichtung oder das Gerät 100 umfaßt einen Laser 102, der einen Strahl aufweist, der, wenn er durch ein optisches System 104 fokussiert worden ist, eine ausreichende Leistungsdichte zur Ausbildung eines Plasmas und zum Schmelzen eines eingespeisten feinzerteilten oder pulverisierten Materials besitzt. Der Strahl des Lasers 102 mit einer Laserstrahlachse 106 wird vom optischen System 104 konvergent fokussiert und tritt dann in eine Spray- oder Spritzdüse 108 ein, deren Struktur und Funktionsweise weiter unten detaillierter erläutert werden. In der Düse 108 wird ein Plasma ausgebildet, und das Zufuhr- oder Einspeisungsmaterial wird darin geschmolzen. Das geschmolzene Einspeisungsmaterial wird als Spray 110 ausgestoßen oder ausgetrieben, welches auf einem Substrat 114 eine Niederschlag- oder Abscheidungsschicht 112 ausbildet. Das Plasma ist zum großen Teil innerhalb der Düse 108 enthalten, und die Oberfläche des Substrats 114 wird nicht geschmolzen. Der Arbeitsabstand von der Spitze der Düse 108 zum Substrat 114 beträgt typischerweise etwa 25 bis 150 mm (1–6 inches). Der Spraystrahl 110 kann schmal und hochgradig in eine Richtung ausgerichtet sein, so daß die Schicht bzw. das aufgetragene Material 112 angenähert der Breite oder Ausdehnung einer Austreibungsöffnung 116 an der Spitze der Düse 108 entspricht.

In der Fig. 2 ist die Düse 108 detaillierter dargestellt, die ein äußeres Gehäuse 118 aufweist, das über eine Schraubverbindung mit einem Ende des optischen Systems 104 verbunden ist, so daß das Gehäuse 118 zum Zwecke der Einstellung vom Laser 102 wegbewegt bzw. auf diesen zubewegt werden kann. Die Außenfläche des Gehäuses 118 ist im wesentlichen zylindrisch. Die Innenfläche des äußeren Gehäuses 118 ist an dessen der Schraubverbindung gegenüberliegenden Ende mit einer kegelstumpfförmigen Innenfläche 120 ausgebildet.

Innerhalb des äußeren Gehäuses 118 angeordnet und darin durch eine Schraubverbindung eingeschraubt, ist ein Innengehäuse 122. Die Gehäuse 118 und 122 sind

beide hohl, wobei ihre übereinstimmende Mittenachse mit der Strahlachse 106 zusammenfällt. Die Außenfläche des Innengehäuses 122 umfaßt ebenfalls eine kegelstumpfförmige Oberfläche 124 am nach unten gerichteten Ende des Gehäuses. Die beiden kegelstumpfförmigen Flächen 120 und 124 sind im wesentlichen aufeinandergerichtet und definieren einen ringförmigen Durchgang oder Durchtrittshohlraum 126 zwischen diesen Flächen. Relative Axialbewegungen des Innengehäuses 122 und Außengehäuses 124 vergrößern oder verkleinern die Durchtrittsfläche des ringförmigen Durchgangs 126.

Am unteren Ende des Außengehäuses 118 ist eine Einschuß- oder Begrenzungskammer 128 angefügt. Diese Einschußkammer 128 ist vorzugsweise zylindrisch und mit hohlen Wandungskonstruktionen ausgebildet, so daß über Kühlwasserleitungen 130 Kühlwasser durch das Innere dieser Wandungen zirkuliert und geleitet werden kann. Das Ende der Einschußkammer 128 bildet die Austreibungsöffnung oder Auswurföffnung 116.

In einem Ausführungsbeispiel ist die Innenfläche 132 der Einschußkammer 128 über ihre ganze Länge zylindrisch, wobei die Achse dieser zylindrischen Anordnung mit der Strahlachse 106 zusammenfällt. Zu bevorzugen ist jedoch eine Auslegung, in der die Innenfläche 132 der Einschußkammer 128 entlang eines Abschnitts ihrer an die Austreibungsöffnung 116 angrenzenden Länge zylindrisch ausgebildet ist, hingegen eine trichterförmige Verengung 134 mit vermindertem Querschnitt axial zwischen den Wandungen aufweist, wobei diese Wandungen nach unten von der Strahlachse 106 weg geneigt sind. Dieser Halsabschnitt oder diese Verengung 134 ist angrenzend an das untere Ende der kegelstumpfförmigen Oberfläche 120 des Außengehäuses 118 angeordnet.

Feinzerteiltes Einspeisungsmaterial, vorzugsweise in Pulverform, wird in die Vorrichtung 100 durch den ringförmigen Durchgang 126 eingebracht. Das Pulver ist zunächst in einer nicht dargestellten Pulvereinspeisungsquelle und wird in einen Trägergasstrom fließbettartig fluidisiert, der in einem Trägergasrohr 126 strömt. Das fluidisierte Pulver strömt in mehrere solcher Pulvereinspeisungsröhren 136, die typischerweise 2 bis 4 Röhren umfassen, die um den Umfang der Vorrichtung 100 gleich beabstandet angeordnet sind. Anschließend strömt das Pulver zu Ausstoßöffnungen 142, die symmetrisch am Kopf des ringförmigen Durchgangs 126 angeordnet sind.

Darüber hinaus ist eine weitere Gasströmung in die Düse 108 vorgesehen. Eine axiale Gasströmung eines plasmabildenden Gases wird durch eine axiale Gasströmungsleitung 148 eingebracht, die entweder durch die Wandung der Düse oder durch die Wandung des optischen Systems 104 wie im Ausführungsbeispiel mit dem Innern der Düse 108 in Verbindung steht. Das plasmabildende Gas strömt aus der Leitung 148 durch das Innere der Düse 108, durch die von den kegelstumpfförmigen Flächen 120 und 124 definierten Öffnungen, durch die Einschußkammer 128 und aus der Austreibungsöffnung 116 heraus. Die axiale Gasströmung schützt das optische System vor Beschädigung, unterstützt die Ausbildung des Plasmas und trägt das geschmolzene Material zum Substrat.

Der Strahl 146 des Lasers 102 wird vom optischen System 104 auf einen Fokuspunkt oder Brennpunkt 150 fokussiert, der sich auf der Strahlachse 106 sowie in der Einschußkammer 128 befindet. Der Brennpunkt 150 ist ausreichend weit von der Oberfläche des Substrats entfernt, so daß die Kombination der direkten Erwärmung

und Plasmaerwärmung nicht ausreicht, die Oberfläche des Substrats zu schmelzen. Im dargestellten Ausführungsbeispiel mit trichterförmiger Verjüngung liegt der Brennpunkt 150 vorzugsweise innerhalb des nach außen geneigten Wandungsabschnitts unterhalb des Halses 134 oder Öffnung der Verjüngung. Mit anderen Worten liegt die schmalste Einschnürung des Halses 134 zwischen dem Brennpunkt 150 und dem Laser 102.

Vorzugsweise bildet das feinzerteilte Einspeisungsmaterial einen umgekehrten Konus, wenn es aus dem Hals 134 austritt. Der Einspeisungsmaterialkonus weist einen Brennpunkt auf, der einstellbar ist, d. h., daß der Einspeisungsmaterialbrennpunkt zum Hals 134 hin und von diesem weg bewegt werden kann. Eine solche Einstellung des Einspeisungsmaterialbrennpunktes wird durch Drehen des Innengehäuses 122 relativ zum Außengehäuse 124 erzielt. Eine solche Drehung bewegt das Innengehäuse 122 axial und vergrößert bzw. verkleinert die Abmessungen des ringförmigen Durchgangs 126 insbesondere an dessen unterem Ende. Wird der Durchgang 126 größenmäßig verkleinert, so werden der Einspeisungsmaterialkonus und dessen Brennpunkt ebenfalls geändert. Der Einspeisungsmaterialbrennpunkt und der Laserstrahlbrennpunkt können so eingestellt werden, daß sie zusammenfallen.

Die Leistungsdichte des Strahls 146 ist im Brennpunkt 150 am größten. Die Leistungsdichte ist an dieser Stelle derart ausreichend groß, daß die Wechselwirkung zwischen dem axialen Gas, dem Trägergas, dem Pulver und der Energie des Laserstrahls in der Ausbildung eines Plasmas 152 resultiert. Das Plasma ist eine hochgradig ionisierte Wolke von Ionen und Elektronen, das in einem begrenzten Volumen eine außerordentlich hohe Temperatur erreicht. In diesem Wechselwirkungsvolumen wird ein Teil der Atome des Einspeisungsmaterials im Pulver verdampft. Die Laserstrahlenergie streift von plasmabildenden Gasatomen und den verdampften Speisematerialatomen Elektronen ab. Ist das Plasma einmal initiiert oder "gezündet", so unterhält es sich selbst, wenn die Gasströmung und der Laserstrahl aufrechterhalten werden. Ein Teil des feinzerteilten Einspeisungsmaterials wird im Plasma geschmolzen, und die übrigen Teile können beabsichtigt oder unbeabsichtigt ungeschmolzen bleiben. Die fortgesetzte Strömung von plasmabildendem Gas durch den Bereich der Plasmabildung und zum Substrat hin trägt das geschmolzene und nicht geschmolzene Einspeisungsmaterial, das aus der Düse 108 durch die Öffnung 116 auszutreiben ist und das Sprühmittel 110 bildet, das sich Substrat 114 als Schicht 112 niederschlägt. Die Schicht 112 enthält infolgedessen Einspeisungsmaterial, das im Plasma geschmolzen worden ist und beim Streifen des Substrats wieder verfestigt wurde, und möglicherweise Einspeisungsmaterial, das niemals im Plasma geschmolzen wurde. Bei einigen Anwendungen, z. B. für verschleißfeste Überzüge, sogenannte Coatings, kann es erstrebenswert sein, einen Teil des Einspeisungsmaterials ungeschmolzen zu belassen. Beispielsweise kann das Einspeisungsmaterial feinzerteiltes Keramikpulver umfassen, das, wenn in Form von Teilchen auf der Oberfläche des Substrats abgelagert, den Verschleißwiderstand des Substrats erhöhen.

Ein wichtiges Merkmal der Laserplasmaspritzvorrichtung 100 ist der teilweise Einschluß bzw. die teilweise Eingrenzung des Plasmas 152 innerhalb des Geräts. Das Plasma 152 wird lateral durch die Einschlußkammer 128 begrenzt und eingegrenzt. In bezug auf Bewegungen in Richtung zum Laser 102 hin, d. h. zurück in die

Gehäuse 118 und 122 wird es durch die Strömung des axialen Gases, des Trägergases und des pulverförmigen Einspeisungsmaterials eingedämmt. Um eine solche Eindämmung oder Zurückhaltung zu erzielen, ergab sich bei Untersuchungen, daß die Strömung relativ hoch sein mußte, wodurch der Bereich möglicher Betriebsvariationen herabgesetzt wurde. Die bevorzugte Lösung besteht darin, den Brennpunkt 150 des Lasers 102 (und damit den Plasmaursprung) an einer Stelle innerhalb der Verjüngung 134 unterhalb dem schmalsten Durchmesser dieser Verjüngung auszubilden, und es wurde herausgefunden, daß diese Maßnahme in signifikanter Weise dazu beiträgt, das Plasma einzudämmen und einzuschließen und daran zu hindern, sich zurück in das Innere der Gehäuse 118 und 122 auszudehnen.

Auf diese Weise teilweise eingegrenzt, hat das Plasma nun nur den Bewegungsfreiheitsgrad, sich in eine einzige Richtung in der Einschlußkammer 128 nach unten zum Substrat 114 hin auszudehnen. Eine derartige Expansion wird im Betrieb beobachtet und erstreckt sich im allgemeinen durch die Öffnung 116 nach außen. Das Ausmaß der Reichweite des Plasmas nach außen hängt primär von der Gasströmungsrate durch die Einschlußkammer 128 und der Laserenergiedichte im Laserbrennpunkt 150 ab. Auf jeden Fall erwärmt das sich aus der Düse heraus erstreckende Plasma das Substrat nicht in genügender Weise, um es zu schmelzen. Wenn erforderlich, so kann das Plasma auch beabsichtigt derart reduziert werden, daß nahezu das gesamte Plasma innerhalb der Einschlußkammer 128 mit nur äußerst geringer Ausdehnung des Plasmas aus der Öffnung 116 heraus enthalten ist. In der vorliegenden Vorrichtung liegt ein beträchtlicher Steuerbereichsumfang für die Plasmagröße und Plasmaausdehnung vor.

Die Erwärmung des Substrats wird durch das Plasma beeinflusst, wobei ein vollständig innerhalb der Vorrichtung 100 enthaltenes Plasma das Substrat nur um einen relativ geringen Strahlungsanteil durch die Öffnung 116 erwärmt. Das Substrat wird darüber hinaus durch die Energie erwärmt, die freigesetzt wird, wenn die abgeschiedenen Atome sich verfestigen, und durch die Energie des Laserstrahls, der durch das Plasma hindurchgelassen wird und das Substrat im nicht fokussierten Zustand erreicht. Diese Beiträge zur Erwärmung sind jedoch relativ gering, und es wurde herausgefunden, daß die Absetzung oder Abscheidung auf dem Substrat ohne Schmelzen des Substrats oder Beeinflussung der metallurgischen Struktur bei Substraten erzielt werden konnten, die noch relativ gemäßigt hohe Schmelzpunkte aufweisen. Im Gegensatz dazu wurde das Substrat bei nahe immer geschmolzen und/oder drastisch in seiner Struktur verändert, wenn der Brennpunkt des Lasers außerhalb des Systems liegt, so daß ein Plasma nahe des Substrats oder im Aufprall auf das Substrat, wie beim Laserschweißen, ausgebildet wird.

Die folgenden aufbau- und betriebstechnischen Details eines Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Lösung sollen nur als zusätzliche Information und nicht einschränkende Merkmale dienen. In einem Ausführungsbeispiel beträgt der Innendurchmesser der Einschlußkammer 10, 16 mm (0,400 inches). Der minimale Durchmesser des Halses beträgt 6,35 mm (0,250 inches). Der Spalt oder die Ausdehnung des ringförmigen Durchgangs beträgt typischerweise ungefähr 1,524 mm (0,060 inches), ist jedoch bei Bedarf entsprechend einstellbar. Die Länge der Düse beträgt ungefähr 100 mm (4 inches), wobei diese Dimensionierung nicht kritisch ist. Der Laser ist ein Kohlendioxidlaser, der auf einem

Leistungspegel von zumindest 2,5 kW im cw-Modus, d. h. Dauerstrichbetrieb arbeitet. Eine Anzahl verschiedener Gase und Gasmischungen wurden für axiale Plasma-bildungsgasströmung verwendet, wobei Argon, Stickstoff, Helium, Sauerstoff, Wasserstoff, Kohlendioxid und Mischungen dieser Gase umfaßt sind. Für das Pulverträgergas werden Gase verwendet, die Argon, Stickstoff, Helium, Wasserstoff, Sauerstoff, Kohlendioxid und Mischungen hiervon umfassen. Eine Vielzahl metallischer und nichtmetallischer Einspeisungsmaterialien und Mischungen hiervon können abgeschieden werden, wobei Keramiken, keramische Mischungen und Metall/Keramik-Mischungen umfaßt sind. Derartige Metalle schließen Titaniumlegierungen wie Ti-6Al-4V, Wolfram, Kobaltlegierungen, Nickellegierungen wie Inconels und Hastelloy X, Keramiken wie Oxide von Aluminium, Chrom und Zirkonium sowie Kunststoffe ein.

Es werden entweder die Düse oder das Substrat oder beide bewegt, so daß eine Relativbewegung zwischen Substrat und Düse erzielt wird. Vorzugsweise ist die Düse fixiert, und das Substrat wird automatisch unter der Düse auf einem elektromechanischen Tisch mit einer X/Y-Bewegungsachse vorgeschoben, wobei diese Bewegung einer programmierten Computersteuerung hinsichtlich der Geschwindigkeit und Richtung der Bewegung unterliegt.

Die folgenden Ausführungsbeispiele dienen zur Verdeutlichung des erfindungsgemäßen Verfahrens; das jedoch nicht auf diese Ausführungsbeispiele beschränkt ist.

#### Beispiel 1

Die in den Fig. dargestellte Vorrichtung wurde dazu verwendet, mit Laserplasmaspritzung Hastelloy X einer Pulvergröße von  $-0,074 \text{ mm}/+0,037 \text{ mm}$  Siebaperturwert ( $-200/+400 \text{ mesh}$ ) auf ein Hastelloy-X-Substrat aufzuspritzen, das mit einem Argonschutzgas geschützt wurde. Der Laser wurde mit einer Leistung von 3,4 kW mit einer Fokuslänge von 190 mm (7,5 inches) betrieben. Die gesamte fluidisierende und axiale Gasströmung betrug  $1,4160 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $50 \text{ ft}^3/\text{h}$ ) Argongas, und die Pulverströmungsrate betrug 7 g/min. Die Düse befand sich 38,1 mm (1,5 inches) oberhalb des Substrats. Das Substrat wurde mit einer Geschwindigkeit von 16,26 m/min ( $640 \text{ in}/\text{min}$ ) an der Düse entlang bewegt. Die abgelagerte Schicht hatte eine Breite von ungefähr 2,5 mm (0,15 inches) und eine Höhe von ungefähr 0,0254 mm (0,001 inch). Das aufgetragene Material war fest auf dem Substrat bondiert. Jedoch wurden in der abgelagerten Schicht bei metallographischer Untersuchung eine gewisse Porosität und Rauigkeit festgestellt.

#### Beispiel 2

Das Beispiel 1 wurde wiederholt, wobei jedoch das Plasmagas aus einer Mischung gleicher Anteile an Argon und Stickstoff bestand. Die Ergebnisse waren im wesentlichen dieselben, außer daß die Ablagerung im Beispiel 2 eine bessere Oberflächenqualität aufwies.

#### Beispiel 3

Das Beispiel 2 wurde wiederholt, wobei als Plasmagas eine Mischung von Argon mit 5 Vol.-% Sauerstoff verwendet wurde und die Pulvereinspeisungsrate 10,5 g/min betrug. Die Ergebnisse waren vergleichbar zu denen des Beispiels 2.

#### Beispiel 4

Die dargestellte Vorrichtung wurde zur Laserplasmaspritzung eines Ti-6Al-4V Pulvers einer Größe von  $-0,149/0,0648 \text{ mm}$  Siebaperturwert ( $-100/+230 \text{ mesh}$ ) auf einen Ti-6Al-4V Substrat unter Verwendung von Argonschutzgas benutzt. Der Laser wurde mit 5 kW Leistung und einer Fokuslänge von 127 mm (5,0 inches) betrieben. Die gesamte fluidisierende und axiale Strömung betrug  $1,1328 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $40 \text{ ft}^3/\text{h}$ ) Argongas, und die Pulverströmungsgeschwindigkeit betrug 10 g/min. Die Düse befand sich 50,8 mm (2 inches) oberhalb des Substrats. Das Substrat wurde mit einer Rate von 2,54 m/min ( $100 \text{ in}/\text{min}$ ) an der Düse vorbeigeführt. Es wurde hiermit eine einwandfreie Schicht auf dem Substrat abgelagert.

#### Beispiel 5

Das Beispiel 4 wurde wiederholt, wobei als Schutzgas eine Mischung von Argon und Helium verwendet wurde mit einer Argonströmung von  $0,84960 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $30 \text{ ft}^3/\text{h}$ ) und Heliumströmung von  $0,14 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $5 \text{ ft}^3/\text{h}$ ). Die Düse befand sich nur 25,4 mm (1 inch) oberhalb der Oberfläche des Substrats. Im übrigen entsprachen die Ergebnisse und Betriebsparameter denen von Beispiel 4.

#### Beispiel 6

Die dargestellte Vorrichtung wurde dazu verwendet, durch Laserplasmaspritzung Wolfram einer Pulvergröße von  $-0,074 \text{ mm}/+0,037 \text{ mm}$  Siebaperturwert ( $-200/+400 \text{ mesh}$ ) auf ein Kupfersubstrat unter Verwendung von Argonschutzgas aufzuspritzen. Der Laser wurde mit 5 kW Leistung bei einer Fokuslänge von 127 mm (5,0 inches) betrieben. Die fluidisierenden und axialen Gasströme bestanden aus einer Mischung von Argon und Stickstoffgasen mit einer Argonströmungsrate von  $0,84960 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $30 \text{ ft}^3/\text{h}$ ) und einer Stickstoffströmungsrate von  $0,283 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $10 \text{ ft}^3/\text{h}$ ). Die Pulverströmungsrate betrug 22 g/min. Die Düse befand sich in einer Höhe von 25,4 mm (1 inch) oberhalb des Substrats. Das Substrat wurde mit einer Geschwindigkeit von 1,016 m/min ( $40 \text{ in}/\text{min}$ ) an der Düse vorbeigeführt. Es wurde eine einwandfreie Schicht auf dem Substrat abgeschieden.

#### Beispiel 7

Die dargestellte Vorrichtung wurde dazu verwendet, mit Laserplasmaspritzung eine Inconel-718-Legierung auf Nickelbasis einer Pulvergröße von  $-0,074 \text{ mm}/+0,044 \text{ mm}$  Siebaperturwert ( $-200/+325 \text{ mesh}$ ) auf ein Substrat aus einer Inconel-718-Legierung unter Verwendung von Argonschutzgas aufzuspritzen. Der Laser wurde mit 3,5 kW Leistung bei einer Fokuslänge von 127 mm (5,0 inches) betrieben. Die gesamte fluidisierende und axiale Gasströmung betrug  $1,13280 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $40 \text{ ft}^3/\text{h}$ ) Argongas, und die Pulverströmungsrate betrug 6 g/min. Die Düse befand sich 25,4 mm (1 inch) oberhalb des Substrats. Das Substrat wurde mit einer Geschwindigkeit von 1,016 m/min ( $40 \text{ in}/\text{min}$ ) an der Düse entlanggeführt. Es wurde eine einwandfreie Schicht auf dem Substrat abgeschieden.

#### Beispiel 8

Die dargestellte Vorrichtung wurde dazu verwendet,

mit Laserplasmaspritzung eine pulverisierte Mischung von 60 Gew.-% Silber und 40 Gew.-% Wolframcarbid mit einer Pulvergröße von  $-0,074 \text{ mm} / +0,037 \text{ mm}$  Siebaperturwert ( $-200 / +400 \text{ mesh}$ ) auf ein Kupfersubstrat unter Argonschutzgas aufzubringen. Der Laser wurde mit 5 kW Leistung bei einer Fokusslänge von 127 mm (5 inches) betrieben. Die fluidisierenden und axialen Gasströme waren eine Mischung aus Argon und Stickstoffgasen mit einer Argonströmungsrate von  $0,84960 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $30 \text{ ft}^3/\text{h}$ ) und einer Stickstoffströmungsrate von  $0,28 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $10 \text{ ft}^3/\text{h}$ ). Die Pulverströmungsrate betrug  $20 \text{ g}/\text{min}$ . Die Düse befand sich  $25,4 \text{ mm}$  (1 inch) oberhalb des Substrats. Das Substrat wurde mit einer Geschwindigkeit von  $1,016 \text{ m}/\text{min}$  ( $40 \text{ inches}$ ) an der Düse vorbeigeführt. Es wurde eine einwandfreie Schicht auf dem Substrat abgeschieden.

#### Beispiel 9

Die dargestellte Vorrichtung wurde dazu verwendet, unter Laserplasmaspritzung eine pulverisierte Mischung von 70 Gew.-% Nickellegierung und 30 Gew.-% Aluminiumoxid mit einer Pulvergröße von  $-0,074 \text{ mm} / +0,037 \text{ mm}$  Siebaperturwert ( $-200 / +400 \text{ mesh}$ ) auf ein Inconel 718 Substrat unter Verwendung von Argonschutzgas aufzubringen. Der Laser wurde mit 4 kW Leistung und einer Fokusslänge von  $127 \text{ mm}$  (5,0 inches) betrieben. Die fluidisierenden und axialen Ströme waren eine Mischung aus Argon und Stickstoffgasen mit einer Argonströmungsrate von  $0,84960 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $30 \text{ ft}^3/\text{h}$ ) und einer Stickstoffströmungsrate von  $0,28 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $10 \text{ ft}^3/\text{h}$ ). Die Pulverströmungsrate betrug  $10 \text{ g}/\text{min}$ . Die Düse befand sich  $25,4 \text{ mm}$  (1 inch) oberhalb des Substrats. Das Substrat wurde mit einer Geschwindigkeit von  $2,54 \text{ mm}$  ( $100 \text{ in}/\text{min}$ ) an der Düse entlanggeführt. Es wurde eine einwandfreie Schicht auf dem Substrat abgeschieden.

#### Beispiel 10

Die dargestellte Vorrichtung wurde dazu verwendet, mit Laserplasmaspritzung eine pulverisierte Mischung aus 92 Gew.-% Zirkoniumoxid und 8 Gew.-% Yttriumoxid mit einer Pulvergröße von  $-0,074 \text{ mm} / +0,044 \text{ mm}$  Siebaperturwert ( $-200 / +325 \text{ mesh}$ ) auf ein Inconel 718 Substrat unter Verwendung von Argonschutzgas aufzubringen. Der Laser wurde mit 5 kW Leistung und einer Fokusslänge von  $127 \text{ mm}$  (5,0 inches) betrieben. Die fluidisierenden und axialen Gasströme waren eine Mischung aus Argon und 2 Vol.-% Sauerstoffgasen mit einer gesamten Strömungsrate von  $1,1328 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $40 \text{ ft}^3/\text{h}$ ). Die Pulverströmungsrate betrug  $10 \text{ g}/\text{min}$ . Die Düse befand sich  $50,8 \text{ mm}$  (2 inches) oberhalb des Substrats. Das Substrat wurde mit einer Geschwindigkeit von  $2,54 \text{ m}/\text{min}$  ( $100 \text{ in}/\text{min}$ ) an der Düse entlanggeführt. Es wurde eine einwandfreie Schicht auf dem Substrat abgeschieden.

Die Beispiele demonstrieren, daß eine breite Vielzahl verschiedenster Materialien und Mischungen unter Verwendung der Laserpulverspritztechnik, die unter verschiedensten Betriebsbedingungen durchgeführt wird, mit gutem Ergebnis aufgespritzt werden kann. Die vorliegende Erfindung liefert infolgedessen ein hochgradig vielseitiges Werkzeug zum Ablagern von Materialien auf Substraten. Neben den angegebenen Ausführungsbeispielen sind zahlreiche Abwandlungen und Änderungen der erfindungsgemäßen Vorrichtung bzw. des erfindungsgemäßen Verfahrens denkbar, ohne von der Erfindungsidee abzuweichen oder den Schutzzumfang der Er-

findung zu verlassen.

#### Patentansprüche

1. Laserplasmaspritzvorrichtung zum Aufbringen eines Einspeisungsmaterials auf einem Substrat, gekennzeichnet durch einen Laser (102); ein optisches System (104), das dazu ausgelegt ist, den Strahl (146) des Lasers auf ein Wechselwirkungsvolumen zu fokussieren, wobei der Brennpunkt (150) des Lasers sich derart oberhalb der Oberfläche des Substrats (114) befindet, daß der Strahl beim Streifen des Substrats divergiert; Einrichtungen (136, 148) zum Zuführen des Einspeisungsmaterials und einer Gasströmung in das Wechselwirkungsvolumen, in welchem im Betrieb der Vorrichtung ein Plasma (152) ausgebildet wird und zumindest ein Teil des Einspeisungsmaterials geschmolzen wird; und Einrichtungen (104, 128, 134, 136, 148), die das Plasma und das geschmolzene Einspeisungsmaterial teilweise eingrenzen und das Plasma und das geschmolzene Einspeisungsmaterial zum Substrat hin richten.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ferner ein Gas vorgesehen ist, daß mit dem Einspeisungsmaterial gemischt wird und aus einer Gruppe ausgewählt ist, die Argon, Stickstoff, Helium, Wasserstoff, Sauerstoff, Kohlendioxid und Mischungen hiervon umfaßt.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Einspeisungsmaterial aus einer Gruppe ausgewählt ist, die Titanlegierungen, Nickellegierungen, Kobaltlegierungen und Eisenlegierungen umfaßt.
4. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Einspeisungsmaterial aus einer Gruppe ausgewählt ist, die ein Metall, ein Nichtmetall und Mischungen eines Metalls und Nichtmetalls umfaßt.
5. Laserplasmaspritzvorrichtung, gekennzeichnet durch eine Düse (108) mit einem kegelstumpfförmigen äußeren Gehäuse (118); einem kegelstumpfförmigen inneren Gehäuse (122) geringerer Konusausmaße als das Außengehäuse und so in das Außengehäuse eingepaßt, daß die Kegelstumpfachsen beider Gehäuse zusammenfallen, wobei das Außengehäuse und Innengehäuse einen ringförmigen Durchgang (126) definieren; und einer hohlen zylindrischen Verlängerung (128) des Außengehäuses mit einer mit den Kegelstumpfachsen von Außen- und Innengehäuse zusammenfallenden Zylinderachse, wobei diese zylindrische Verlängerung eine Plasmaeinschlußkammer ausbildet; einen Laser (102); ein optisches System (104), das dazu ausgelegt ist, den Laserstrahl (146) entlang der Kegelstumpfachse von Innen- und Außengehäuse auf einen Brennpunkt (150) innerhalb des Innern der Zylinderausdehnung (128) zu richten; eine Gaszufuhranordnung (148), die mit dem Innern des Innengehäuses (122) in Verbindung steht und eine Strömung eines plasmabildenden Gases vom



Innengehäuse zur zylindrischen Verlängerung erzeugt; und  
 eine Einspeisungsanordnung (136), die mit dem ringförmigen Durchgang zwischen Innen- und Außengehäuse in Verbindung steht und dazu ausgelegt ist, eine Strömung eines feinzerteilten Einspeisungsmaterials, das mit einem Trägergas gemischt ist, darin einzuleiten.  
 6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Trägergas aus einer Gruppe ausgewählt ist, die Argon, Stickstoff, Helium, Sauerstoff, Wasserstoff, Kohlendioxid und Mischungen hiervon umfaßt.  
 7. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß das plasmabildende Gas aus einer Gruppe ausgewählt ist, die Argon, Stickstoff, Helium, Wasserstoff, Sauerstoff, Kohlendioxid und Mischungen hiervon umfaßt.  
 8. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Einspeisungsmaterial aus einer Gruppe ausgewählt ist, die Titanlegierungen, Nickellegierungen, Kobaltlegierungen und Eisenlegierungen umfaßt.  
 9. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Einspeisungsmaterial aus einer Gruppe ausgewählt ist, die Aluminiumoxid, Chromoxid, Zirkoniumoxid und Mischungen hiervon umfaßt.  
 10. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Düse (108) ferner eine Einschnürung zwischen dem äußeren Gehäuse (118) und der zylindrischen Verlängerung (128) aufweist, wobei die Einschnürung einen zylindrischen Durchmesser aufweist, der kleiner als die Öffnung des kegelförmigen äußeren Gehäuses und ebenso kleiner als der Innendurchmesser der zylindrischen Verlängerung ist.  
 11. Laserplasmaspritzvorrichtung, gekennzeichnet durch einen Laser (102), der dazu ausgelegt ist, den Laserstrahl (146) auf ein Wechselwirkungsvolumen zu fokussieren;  
 eine Plasmaeinschlußkammer (128), die innerhalb des Wechselwirkungsvolumens liegt und die aufweist  
 eine laterale Begrenzungswand (132);  
 eine Pulvereinspeisungskammer (126) zwischen dem Laser und der Begrenzungswand; und  
 einen Hals (134) verjüngter Abmessung zwischen der Begrenzungswand und der Pulvereinspeisungskammer, wobei der Laserstrahl durch diesen Hals hindurchtritt, um seinen Brennpunkt (150) zu erreichen;  
 eine Pulverzufuhranordnung (136), die pulverförmiges Einspeisungsmaterial in die Pulvereinspeisungskammer in einem Trägergasstrom einspeist; und  
 eine Gaszufuhranordnung (148), die das Pulver aus der Pulvereinspeisungskammer in einem plasmabildenden Gasstrom in die Einschlußkammer (128) bewegt.  
 12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Wechselwirkungsvolumen sich innerhalb des Halses (134) befindet.  
 13. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Trägergas aus einer Gruppe ausgewählt ist, die aus Argon, Stickstoff, Helium, Wasserstoff, Sauerstoff, Kohlendioxid und Mi-

schungen hiervon besteht.

14. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß das plasmabildende Gas aus einer Gruppe ausgewählt ist, die Argon, Stickstoff, Helium, Wasserstoff, Sauerstoff, Kohlendioxid und Mischungen hiervon umfaßt.

15. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Einspeisungsmaterial aus einer Gruppe ausgewählt ist, die Titanlegierungen, Nickellegierungen, Kobaltlegierungen und Eisenlegierungen umfaßt.

16. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Einspeisungsmaterial aus einer Gruppe ausgewählt ist, die ein Metall, ein Nichtmetall und eine Mischung eines Metalls und eines Nichtmetalls umfaßt.

17. Verfahren zum Aufbringen einer Schicht eines Einspeisungsmaterials auf ein Substrat, gekennzeichnet durch die Schritte des:

Einstellens eines Lasers mit einem Brennpunkt oberhalb der Oberfläche des Substrats, so daß der Brennpunkt derart ausreichend weit von der Oberfläche des Substrats entfernt ist, daß das Substrat nicht geschmolzen wird;

Ausbildens eines Plasmas im Bereich des Laserbrennpunkts;

Hinzufügens feinzerteilten Einspeisungsmaterials in das Plasma zur Schmelzung zumindest eines Teils des Einspeisungsmaterials; und

Richtens des geschmolzenen Einspeisungsmaterials auf das Substrat.

18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt des Hinzufügens ausgeführt wird, indem das feinzerteilte Einspeisungsmaterial um den Außenumfang des Plasmas herum herangeführt wird.

19. Verfahren nach Anspruch 17, gekennzeichnet durch den zusätzlichen Verfahrensschritt des Einrichtens einer Einschlußkammer um den Brennpunkt des Lasers herum mit einer lateralen Wandung mit offenen Enden, die dem Laserstrahl den Eintritt in ihr eines und den Austritt aus ihrem anderen Ende gestattet.

20. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt des Richtens ausgeführt wird, indem ein Strom eines plasmabildenden Gases durch die Region des Brennpunkts vom Laser und auf das Substrat hin in einer Richtung parallel zur Laserstrahlrichtung geführt wird, um so das geschmolzene Einspeisungsmaterial zur Strömung auf das Substrat zu veranlassen.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen



— Leerseite —

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

FIG. 2.

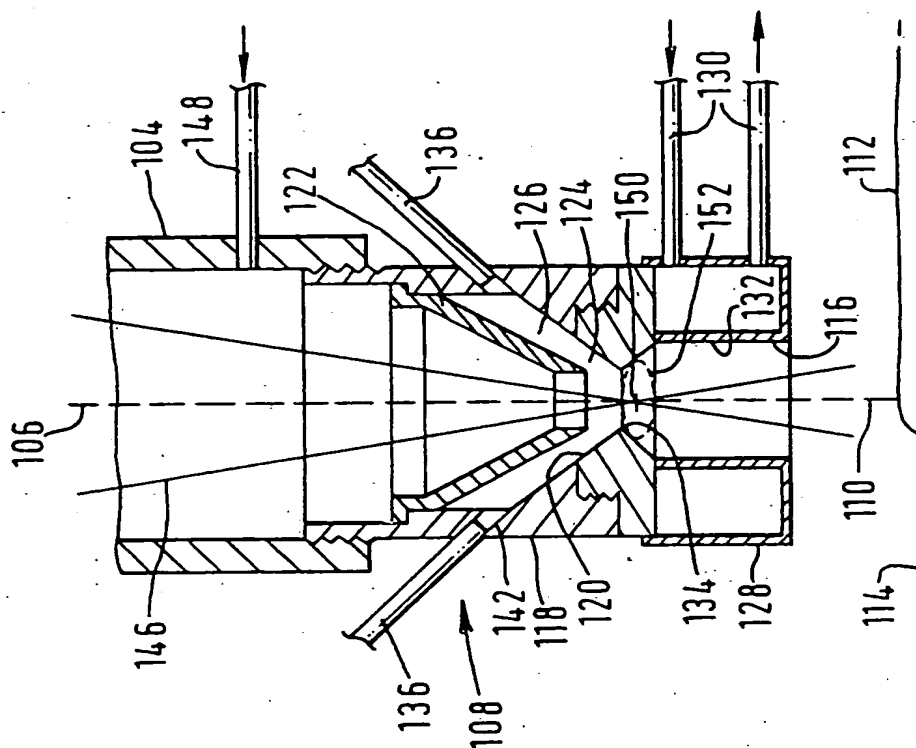


FIG. 1.

